

# **ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ В ВЫСОКОПРОЧНОМ ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ПРИ ДВОЙНОМ СТАРЕНИИ**

*Нарыгина И.В., Колосова Е.В., Буслаева Ю.Е.,  
Белослудцева Е.С., Копанева О.С.*

*Руководитель - доц., к.т.н. Илларионов А.Г.*

УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, г.Екатеринбург  
narygina\_iv@mail.ru

Двухфазные ( $\alpha+\beta$ )-сплавы переходного класса являются широко используемыми в различных областях промышленности материалами на основе титана благодаря возможности получения высокого уровня свойств методами термической обработки.

Актуальность проведения операции двойного старения в титановых сплавах состоит в формировании мелкодисперсных и однородно распределенных в структуре выделений вторых фаз, обеспечивающих значительное упрочнение сплава, при низкотемпературном старении, и зарождении  $\alpha$ -фазы по межфазным границам, созданным на первом ступени старения, на второй ступени старения, способствуя равномерному распределению упрочняющей  $\alpha$ -фазы по телу зерна, обеспечивая повышенную пластичность при незначительном снижении прочности. Однако для сплавов данного класса исследований в таком направлении проведено ограничено.

В настоящей работе процессы выделения вторых фаз при различных режимах двойного старения и формирование комплекса механических свойств в сплаве ВТ22 изучали на горячекатаных в  $\alpha+\beta$ - ( $T_{\text{сп}} - 30^\circ\text{C}$ ) и  $\beta$ -области ( $T_{\text{сп}} + 30^\circ\text{C}$ ) прутковых полуфабрикатах  $\varnothing 15$  мм, полученных по промышленной технологии на ОАО «Корпорации ВСМПО-АВИСМА», схема термической обработки которых заключалась в высокотемпературном нагреве до  $830^\circ\text{C}$ , выдержке 1 час с охлаждением на воздухе и последующем старении при температурах первой ступени  $450^\circ\text{C}$ ,  $500^\circ\text{C}$ ,  $550^\circ\text{C}$  с выдержкой 8 часов и при температурах второй ступени  $550^\circ\text{C}$ ,  $600^\circ\text{C}$ ,  $650^\circ\text{C}$  с выдержками 15 минут, 30 минут и 1 час.

Установлено, что высокотемпературная выдержка при  $830^\circ\text{C}$  не приводит к изменению зеренной структуры горячекатаных в  $\beta$ -области прутков (динамически рекристаллизованная структура), но способствует активному протеканию процессов полигонизации в прутках, горячекатаных в ( $\alpha+\beta$ )-области, с формированием субзерен размером  $\sim 5$  мкм.

Определено, что проведение старения сплава по первой ступени при температуре  $450^\circ\text{C}$  в течение 8 часов приводит к распаду метастабильного  $\beta$ -твердого раствора с формированием в  $\beta$ -матрице дисперсных выделений

вторичной  $\alpha$ -фазы, имеющих значительные ромбические искажения кристаллической решетки и приводящие к эффективному упрочнению сплава, но с очень низкими значениями пластичности ( $\sigma_B \sim 1740$  МПа и  $\delta \sim 1,1$  %;  $\sigma_B \sim 1655$  МПа и  $\delta \sim 2,5$  % для закаленных горячекатаных в  $\beta$ - и  $\alpha+\beta$ -области прутков соответственно).

Повышение температуры первой ступени старения до  $500^\circ\text{C}$  и выше вследствие ускорения диффузионных процессов вызывает активизацию распада метастабильного  $\beta$ -твердого раствора с выделением более крупных частиц вторичной  $\alpha$ -фазы с меньшими ромбическими искажениями кристаллической решетки при  $500^\circ\text{C}$  и полным их снятием при  $550^\circ\text{C}$ , способствуя постепенному снижению эффекта упрочнения сплава от старения.

Рост прочностных свойств при старении  $550^\circ\text{C}$  является менее значительным, по сравнению со старением при температурах  $450^\circ\text{C}$  и  $500^\circ\text{C}$ , то для проведения дальнейшей обработки такой режим низкотемпературного старения является не рациональным.

Проведение двойного старения сплавов при варьировании как параметров низкотемпературного, так и параметров высокотемпературного старения обеспечило реализацию в сплаве различного уровня механических свойств ( $\sigma_B \sim 1295...1510$  МПа и  $\delta \sim 4,4...9,6$  %;  $\sigma_B \sim 1250...1450$  МПа и  $\delta \sim 7,3...11,3$  % для закаленных горячекатаных в  $\beta$ - и  $\alpha+\beta$ -области прутков соответственно).

Показано, что уровень вязкопластических характеристик после двойного старения горячекатаных в  $\beta$ -области прутков ниже, чем для прутков, горячекатаных в  $\alpha+\beta$ -области, вследствие крупнозернистой структуры и наличия  $\alpha$ -оторочки по границам зерен в исходном состоянии.

Наиболее оптимальным режимом термической обработки прутков, горячекатаных в  $\alpha+\beta$ -области, выбран режим после закалки с  $830^\circ\text{C}$ , с выдержкой 1 час на воздухе и последующего двойного старения: первая ступень – при  $500^\circ\text{C}$  в течение 8 часов; вторая ступень  $600^\circ\text{C}$  в течение 1 часа, обеспечивающий в сплаве реализацию следующего комплекса механических свойств  $\sigma_B \sim 1450$  МПа,  $\delta \sim 8$  %, КСЧ  $\sim 0,32$  Дж/мм<sup>2</sup>.

Работа выполнена в рамках целевой программы Министерства образования и науки РФ